

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**REVISIÓN DE LA LITERATURA DE MODELOS MATEMÁTICOS
PARA EL TRÁNSITO DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL
A TRAVÉS DE RUTAS ACCESIBLES Y SEGURAS**

**Trabajo de investigación para la obtención del grado de
BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

AUTOR

Marco Antonio Aragón Loza

ASESOR

Christian Santos Cornejo Sánchez

Lima, diciembre, 2020

Resumen

Esta investigación parte del análisis de los problemas de accesibilidad que tienen las personas con discapacidad para transitar a través de la ciudad. En particular, para las personas con discapacidad visual transitar, navegar y orientarse resulta un reto particularmente difícil porque sus sentidos no perciben la misma información que un peatón sin discapacidad visual. En el Perú un 61.7% de las personas con discapacidad visual no utiliza ningún elemento de apoyo para movilizarse, además presentan dificultades para adquirirlos por su elevado costo.

El principal elemento de apoyo para el tránsito de personas con discapacidad visual es el bastón blanco; sin embargo, ese objeto tiene un rango limitado de acción. Por esta razón se han desarrollado soluciones que permitan que dichas personas transiten de manera segura a través de la ciudad. Entre estas soluciones se encuentran los dispositivos electrónicos que sirven para detectar obstáculos, los dispositivos para navegación mediante radio señales, algoritmos de optimización para encontrar rutas seguras y accesibles y los sistemas de apoyo para navegación que incluye tecnología de inteligencia artificial, *Big Data* e *Internet of Things* (IoT).

La revisión de la literatura de este trabajo de investigación revela que la solución que utiliza el IoT es la que cubre la mayoría de aspectos de la problemática de tránsito para personas invidentes (detección de obstáculos, navegación y accesibilidad). Asimismo, que en dicha solución también se utilizan algoritmos de optimización que permiten a los usuarios acceder a distintos destinos y que han presentado indicadores de rendimiento que sugieren que estas herramientas de optimización benefician a las personas con discapacidad visual en su movilidad e independencia. Por último, se debe considerar que estas herramientas de optimización deben utilizarse considerando las limitaciones o preferencias de las personas con discapacidad visual, no solo consiste en encontrar la ruta más corta, sino en la medida de lo posible encontrar la ruta más segura y accesible.

Tabla de contenidos

Resumen.....	i
Tabla de contenidos	ii
Índice de figuras.....	iv
Capítulo 1. Marco conceptual	1
1.1. Discapacidad	1
1.1.1. Discapacidad visual.....	1
1.2. Elementos de ayuda para el desplazamiento y movilidad de personas con discapacidad visual	2
1.2.1. Bastón blanco.....	3
1.2.2. Perro guía	5
1.2.3. Superficies táctiles	6
1.2.4. Señales peatonales accesibles	7
1.2.5. Herramientas basadas en el uso de smartphones.....	7
1.2.6. Sistemas basados en la utilización de algoritmos para planificación de rutas	8
Capítulo 2. Estado del arte	12
2.1. Dispositivos electrónicos para personas con discapacidad visual	12
2.2. Dispositivos electrónicos para detección de obstáculos	13
2.3. Dispositivos para navegación	14
2.4. Algoritmos	15
2.4.1. Planificación de rutas en ambientes desconocidos utilizando <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO).....	16

2.4.2. Planificación de rutas utilizando el algoritmo <i>Artificial Bee Colony</i> (ABC).....	17
2.5. Sistema de apoyo para navegación de estudiantes con discapacidad visual en un campus universitario	19
2.5.1. Hardware	20
2.5.2. Software	21
Capítulo 3. Conclusiones	24
Bibliografía	26



Índice de figuras

Figura 1. Personas con discapacidad para ver según su elemento de apoyo para desplazarse..	3
Figura 2. <i>Beacons</i> desplegadas en una ciudad y transmitiendo señales a dispositivos cercanos.....	8
Figura 3. Porcentaje de riesgo (giros) por cada algoritmo.....	9
Figura 4. Longitud del camino por cada algoritmo.....	10
Figura 5. Tiempo de ejecución para cada algoritmo.....	10
Figura 6. Arquitectura del sistema del asistente de navegación mediante sensores para personas con discapacidad visual.....	13
Figura 7. Proceso del algoritmo <i>Particle Swarm Optimization</i>	17
Figura 8. Utilización de la Frontera de Pareto.	19
Figura 9. Triángulo de comunicación.....	20
Figura 10. Interacción con un <i>beacon</i>	21
Figura 11. Interfaz de la aplicación móvil utilizada por el estudiante con discapacidad visual.....	21

Capítulo 1. Marco conceptual

1.1. Discapacidad

Según la (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2001) el documento de la Clasificación Internacional del Funcionamiento de la Discapacidad y de la Salud (CIF), tiene como propósito proponer un lenguaje unificado y homogeneizado sobre temas de la salud y los temas vinculados con esta, respecto a las discapacidades, el CIF la define como una expresión genérica que abarca deficiencias, limitaciones en la actividad o limitaciones en la participación de estas.

También la OMS (s.f.) afirma que es un fenómeno complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive. Según Querejeta (2012), esta terminología ha sufrido cambios a lo largo de los años, es por eso que la OMS eliminó términos como “minusvalía”, para reformar el término “persona con discapacidad” en una expresión que engloba las perspectivas corporales, individuales y sociales que implica una discapacidad.

1.1.1. Discapacidad visual

De igual manera el término discapacidad visual ha sido punto de discusión debido a una divergencia profesional y cultural de médicos, psicólogos y educadores; esto no permitía definir claramente si una persona que presenta algún tipo de deficiencia visual pertenece legalmente a la población de personas con discapacidad visual, por esta razón actualmente se utiliza la globalización de conceptos que ha permitido abarcar e incluir a personas ciegas, personas con disminución visual y personas con baja visión dentro del término “persona con discapacidad visual” (Santiago, Cancela, & González, 2006).

Por su parte la OMS (2018), clasifica la deficiencia visual y la ceguera en distintos niveles: discapacidad visual leve agrupa a las personas con una agudeza visual inferior a 6/12 en el test

de Snellen; discapacidad visual moderada a una agudeza visual menor a 6/18; discapacidad visual grave a una agudeza visual inferior a 6/60, y ceguera a una agudeza visual menor a 3/60. Tanto la discapacidad visual moderada como grave se agrupan en el término “baja visión”.

Respecto a los niveles de discapacidad visual Barraga (1992) refiere lo siguiente:

- Una persona con discapacidad visual moderada es capaz de realizar tareas que impliquen el uso del sentido de la vista siempre que cuente con el apoyo de una iluminación apropiada.
- Una persona con discapacidad visual severa también puede realizar tareas que impliquen la visión; sin embargo, pueden demorar más y ser menos preciso en sus acciones aun con apoyo o asistencia.
- Una persona con discapacidad visual profunda tiene dificultades para realizar tareas visuales gruesas y le resulta inviable hacer tareas que necesiten una visión detallada.

1.2. Elementos de ayuda para el desplazamiento y movilidad de personas con discapacidad visual

Según Islam, Sadi, Zamli y Ahmed (2019) en los últimos años la población con discapacidad visual ha tenido un incremento importante, es por ello que el desarrollo de soluciones para resolver la problemática de movilidad, tránsito y desplazamiento de las personas con discapacidad visual ha ganado una mayor transcendencia; sin embargo, a pesar de la gran cantidad de investigaciones desarrolladas sobre elementos de apoyo basado en sensores, visión de computadora o utilización de teléfonos inteligentes; la mayoría de ellos cuentan con limitaciones en su respectivas áreas de acción.

Entre esos elementos se encuentran el bastón blanco, los perros guía, las superficies táctiles, las señales peatonales accesibles, los asistentes mediante smartphones y los algoritmos para planificación de rutas.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2014) el elemento más utilizado por las personas con discapacidad visual en Perú es el bastón blanco (9.8%) y en segundo lugar se encuentra la población que utiliza el perro guía (0.9%). Por otro lado, existe un porcentaje muy alto que no utiliza ningún elemento de ayuda (61.7%), tampoco se observa el uso de dispositivos electrónicos. Actualmente la importación de este tipo de mercadería del extranjero está exonerada de pagos por tributos o impuestos (Impuesto General a las Ventas) cuando es pedido por una persona con discapacidad para su uso personal (no aplica para empresas que importan estos elementos para su posterior venta); sin embargo, según Huerta e Isola (2006) los costos de estos elementos de apoyo en el exterior son elevados y por esta razón resulta difícil que una persona con discapacidad pueda adquirirlos.

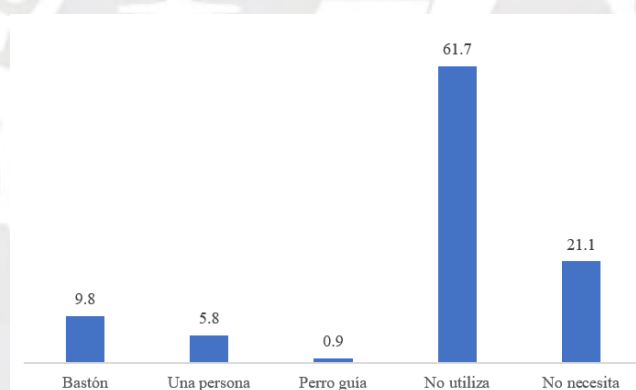


Figura 1. Personas con discapacidad para ver según su elemento de apoyo para desplazarse.

Elaborado con datos de INEI (2014).

A continuación, se describirán los principales elementos de apoyo para personas con discapacidad visual.

1.2.1. Bastón blanco

Según Dos Santos, Medola, Cinelli, García y Sandnes (2020) el bastón blanco se encuentra entre los elementos de apoyo más utilizados por personas con discapacidad visual, el bastón blanco permite detectar elementos que resultan peligrosos y obstaculizan el tránsito de las

personas invidentes como son los muebles o las escaleras. Asimismo, el uso de dicho objeto permite que las personas de alrededor puedan identificar que el usuario es una persona con alguna deficiencia visual; esto resulta útil para que las personas con discapacidad visual reciban apoyo en situaciones que les resulten complejas como el momento de abordar un vehículo o cuando se encuentran en un lugar aglomerado de personas (Dos Santos et al., 2020).

Según Matarrita y Vega (2012), entre los beneficios principales del uso del bastón se encuentran:

- Brinda independencia y autonomía.
- Brinda seguridad.
- El usuario puede recuperar la confianza en sí mismo.
- El elemento combate la exclusión del usuario.

A pesar que elementos como el bastón blanco previenen de las colisiones con obstáculos o las caídas por algún tipo de desnivel, en la investigación realizada por Manduchi y Kurniawan (2011) se registraron, mediante una encuesta a 300 personas con discapacidad visual que son usuarios del bastón blanco y de perros guía, una gran cantidad de lesiones en la cabeza y tronco. También Manduchi y Kurniawan (2011) refieren que estos accidentes significan un gran riesgo para las personas con discapacidad visual, además que causan una alteración en los hábitos que el invidente utiliza para caminar y hace que pierda la confianza en su capacidad para movilizarse de manera independiente.

Es por ello que en ocasiones se desarrolla tecnología electrónica, ya sea incluida al bastón o independiente de este. Esta tecnología funciona utilizando distintos tipos de detectores de proximidad o señales o ultrasonido, se encuentran disponibles en el mercado, pero son descartados por su costo y por su dificultad para aprender a utilizarlo (Sakhardande, Pattanayak, & Bhowmick, 2012).

1.2.2. Perro guía

Según la Fundación Organización Nacional de Ciegos Españoles (Organización Nacional de Ciegos Españoles [ONCE], s.f.a) un perro guía es un elemento de apoyo para la navegación de las personas con discapacidad visual. También ONCE (s.f.b) indica que su fundación tiene como objetivo mejorar la autonomía y movilidad que las personas con discapacidad visual necesitan mediante la ayuda proporcionada por sus perros, por ello esta fundación tiene un enorme cuidado en la cría y adiestramiento de estos animales. En el proceso de adiestramiento los canes tienen una etapa de entrenamiento temprano donde se les instruye las principales funciones de ayuda que realizarán para el usuario invidente tales como reconocimiento de bordillos y escaleras, evasión de obstáculos y evasión de tráfico (ONCE, s.f.b). Según (ONCE, s.f.a) si bien el perro ha sido adiestrado para obedecer al usuario, tiene la capacidad de desobedecerlo en caso se presente algún problema o circunstancia de peligro y la capacidad de buscar una mejor opción.

Según el estudio realizado por Whitmarsh (2005) adquirir un perro guía brinda beneficios no solo en el ámbito de movilidad, sino en aspectos como el bienestar físico, el bienestar psicológico y el incremento de la interacción social.

Por otro lado, el ingreso de estos canes no está permitido en todos los establecimientos públicos. En el caso de Perú, se cuenta con la Ley 29830 (Congreso de la República, 2012) que regula el uso de perros guía por personas con discapacidad visual y garantiza el ingreso de dichas personas acompañados de sus canes guía a lugares públicos o privados, incluyendo medios de transporte y centros de trabajo; sin embargo, en la práctica no todos los establecimientos públicos permiten el ingreso de invidentes con perros guía.

1.2.3. Superficies táctiles

Las superficies táctiles o pisos podotáctiles son elementos cuya superficie cuenta con distintas texturas, sirven para apoyar a personas con discapacidad visual a distinguir lugares, orientarse en una dirección, identificar zonas peligrosas como los cruces de las avenidas y también para guiar al usuario a su destino. Es necesario que estos elementos puedan ser detectados de manera sencilla, caso contrario podría causar dificultades en zonas de riesgo y generar accidentes (Lu, Siu, & Xu, 2008). Sin embargo, según el Department of the Environment Transport and the Regions of UK (DETR, 2004), para que este elemento sea beneficioso los peatones deben tener claro el significado de la superficie podotáctil además que deben conocer de antemano su ubicación para utilizarlo, así para determinar el lugar óptimo de instalación se recomienda realizar una consulta con las personas invidentes que frecuentan la zona sobre los lugares donde tienen mayores dificultades para acceder, y de esta manera, realizar la instalación de las superficies podotáctiles en las zonas de mayor utilidad para los usuarios. También el DETR (2004) indica estos elementos son capaces de informar al usuario sobre zonas peligrosas como la presencia de escaleras o el cruce de una avenida; este aspecto es relevante para el óptimo diseño de la superficie podotáctil porque un usuario que está limitado por la sensibilidad que tiene en los pies (como es el caso de personas con diabetes o personas de avanzada edad) podría obviar este elemento y encontrarse con un potencial peligro. En el caso de Lima Metropolitana según Vilcanqui (2017), el color amarillo de los pisos podotáctiles ayuda a las personas que aún pueden contrastar el color y a las personas con residuo visual; sin embargo, no se puede afirmar que los organismos encargados de su implementación como el Instituto Metropolitano Protransporte de Lima o las municipalidades (La Molina, Miraflores, Surco) hayan consultado con los usuarios de la zona sobre la capacitación o información que cuentan para utilizar este elemento adecuadamente.

1.2.4. Señales peatonales accesibles

Harkey, Carter, Barlow y Bentzen (2007) refieren que el Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD) define una señal peatonal accesible al elemento que, mediante señales no visuales como tonos oíbles, mensajes verbales o superficies vibratorias, son capaces de transmitir información.

Estas señales peatonales accesibles pueden brindar información sobre:

- La presencia y ubicación de un botón pulsador que activa la señal de “tránsito” para que el usuario pueda cruzar la avenida.
- El inicio del lapso de tiempo en el que un peatón puede cruzar la avenida.
- El nombre de las intersecciones de las calles escritos en lenguaje braille, con letras en relieve o mediante mensajes sonoros.
- La presencia una intersección mediante mensaje de voz.

Estas señales transmitidas mediante dispositivos presentan ventajas como reducir el tiempo de espera en el cruce peatonal y completar más cruces peatonales realizados antes que cambie la señal de “tránsito”. Por otro lado, algunos problemas que generan estos dispositivos son la irritación de que sufren las personas que viven en las zonas aledañas debido al frecuente sonido onomatopéyico (de pájaros o bocinas) que producen para que un invidente pueda cruzar. También Harkey et al. (2007) afirman que existe ambigüedad en la utilización de estos elementos pues las personas con discapacidad visual deben saber de antemano la dirección en la que deben cruzar.

1.2.5. Herramientas basadas en el uso de smartphones

Una tecnología emergente de este tipo son los Bluetooth Low Energy (BLE) *beacons*, comúnmente llamados *beacons*, estos emiten señales a ciertos intervalos y dentro de su nivel de transmisión. Su procedimiento resulta análogo a la de un faro, pues ambos referencian una

posición mediante una señal. De manera similar un *beacon* es detectado por elementos como smartphones, relojes inteligentes y computadoras, los cuales tienen capacidad para detectar las radio señales emitidas por el *beacon*; inclusive estos elementos pueden realizar acciones mediante aplicaciones (Spachos & Plataniotis, 2020).



Figura 2. Beacons desplegadas en una ciudad y transmitiendo señales a dispositivos cercanos.

Tomado de Spachos y Plataniotis (2020).

Su pequeño tamaño, bajo costo, y relativamente larga duración de la batería hacen de este un elemento popular en las ciudades inteligentes (Spachos & Plataniotis, 2020). Existen aplicaciones de esta tecnología a bajo costo en espacios interiores para que las personas con discapacidad visual puedan utilizarla mediante un teléfono inteligente; un ejemplo es el del sistema *GuideBeacon* diseñado para espacios interiores que redujo el tiempo de navegación de las personas con discapacidad visual entre 30-50%, y redujo la distancia recorrida en un 50% en la mayoría de los casos evaluados (Cheraghi, Namboodiri, & Walker, 2017). Por otro lado, según Cheraghi et al. (2017) estos sistemas aún tienen que realizar mejoras en cuanto al interfaz de usuario y los módulos de navegación (reducir la distorsión de la voz y también el tiempo de la entrega de instrucciones), para que sean más accesibles para una persona con discapacidad visual.

1.2.6. Sistemas basados en la utilización de algoritmos para planificación de rutas

Se han realizado algunas investigaciones respecto a planificación de rutas para personas con discapacidad visual, en las cuales se tiene en consideración las necesidades específicas de esta

población. Por ejemplo, autores como Cohen (2017) o Kammoun, Dramas, Oriolaand y Jouffrais (2010) encontraron la ruta óptima para invidentes tomando en cuenta la seguridad y accesibilidad en su camino. Sin embargo, según Mahida, Shahrestani y Cheung (2018) las investigaciones sobre rutas óptimas para invidentes aún son escasas, en su investigación se compararon los algoritmos más utilizados para la planificación de rutas (A*, Dijkstra, *Probabilistic roadmap* (PR), *Rapidly exploring Random Tree algorithm* (RRT) y *Ortogonal Jump point search algorithm* (OJPS) aplicados a esta población. También en la investigación de Mahida et al. (2018) se realizaron simulaciones en distintos escenarios con y sin obstáculos para comparar los resultados obtenidos entre estos algoritmos. Las métricas y la función de costos para evaluar el desempeño fueron seleccionados con base en las necesidades de seguridad de una persona con discapacidad visual. En este caso esta necesidad de seguridad fue medida como la proporción de giros que se realizan al pasar por una intersección sobre la cantidad total de giros realizados, la ruta más adecuada es aquella que minimice el número de giros. A continuación, se describen los resultados obtenidos de las simulaciones.

En la figura 3, se compara la capacidad de los algoritmos para encontrar una ruta con un bajo porcentaje de peligro y riesgo (menor número de giros), considerando un ambiente con obstáculos (en rojo) y sin obstáculos (en azul). Se observa que en ambos ambientes el algoritmo que tiene una mayor posibilidad de ser un peligro para el invidente es el algoritmo de Dijkstra, en cambio, el algoritmo OJPS es el que genera una menor probabilidad de ser peligroso.

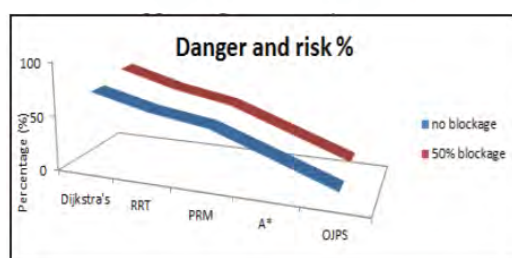


Figura 3. Porcentaje de riesgo (giros) por cada algoritmo.

Tomado de Mahida et al. (2018).

En la figura 4, se compara la longitud del camino escogido por cada algoritmo considerando un ambiente con obstáculos (en rojo) y sin obstáculos (azul). Se observa que en ambos ambientes, el algoritmo Dijkstra genera la ruta con menor longitud, por el contrario, con el algoritmo RRT se obtiene la ruta de mayor longitud.

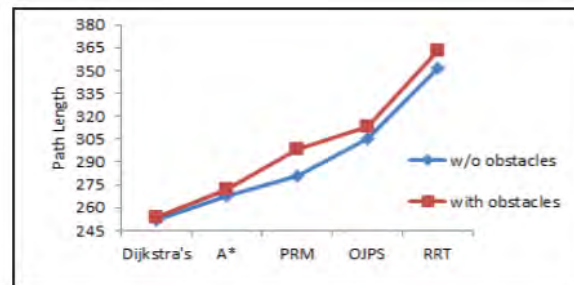


Figura 4. Longitud del camino por cada algoritmo.

Tomado de Mahida et al. (2018).

En la figura 5, se compara el tiempo que demora cada algoritmo en ejecutarse y obtener una respuesta, considerando un ambiente con obstáculos (en rojo) y sin obstáculos (azul). Se observa que en ambos ambientes el algoritmo A* es el que logra un menor tiempo de ejecución, en cambio el algoritmo RRT, es el que toma más tiempo para ejecutarse.

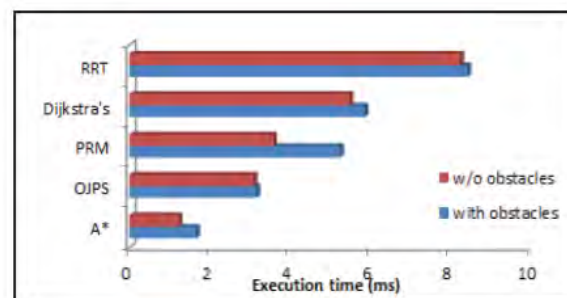


Figura 5. Tiempo de ejecución para cada algoritmo.

Tomado de Mahida et al. (2018).

Los resultados de las simulaciones muestran que el algoritmo OJPS es el que brinda una mayor seguridad en cuestión de giros realizados, Dijkstra es el que obtiene la ruta más corta y el algoritmo A* es el mejor en cuestión de tiempo de ejecución.

Asimismo, Mahida et al. (2018) afirman que las rutas determinadas por Dijkstra y A* no eran adecuadas para las personas con discapacidad visual, mientras que los algoritmos PR y RTT requieren de un pre y post procesamiento. Es por ello que determina que el algoritmo OJPS como el más adecuado para las personas con discapacidad visual pues prefiere la seguridad antes que la distancia, además que no indica giros angulares solo ortogonales. Los autores confirman la implementación del algoritmo OJPS para su sistema de navegación para personas con discapacidad visual. Finalmente, Mahida et al. (2018) recomiendan que estos algoritmos deben adaptarse para que cumplan con las principales necesidades de los invidentes en el tránsito hacia su destino.



Capítulo 2. Estado del arte

La movilidad autónoma es una de las dificultades más relevantes para una persona con discapacidad visual porque, además de que no le permite acceder a lugares nuevos, esta condición tampoco le permite tener una mejor calidad de vida, entablar relaciones sociales o incrementar la confianza en sí mismo sobre sus capacidades (Fanucci, Roncella, Iacopetti, Donati, & Giannelli, 2014).

Según Lakde y Prasad (2015), se han desarrollado investigaciones para resolver la problemática de la movilidad autónoma de una persona con discapacidad visual; sin embargo, las soluciones propuestas tienen limitaciones en cuanto a precisión, la accesibilidad de la tecnología para ser usado por esas personas y también limitaciones en la capacidad de la tecnología para funcionar con otros productos o sistemas similares y la cobertura de la señal que la tecnología posee.

La literatura señala que algunas propuestas recientes para esta problemática son: la aplicación de dispositivos electrónicos para personas con discapacidad visual, la utilización de algoritmos para planificación de rutas y el diseño de un sistema que integra las propuestas mencionadas anteriormente sumado a técnicas de inteligencia artificial, herramientas de *Big Data* e *Internet of Things* (IoT). A continuación, se describirán cada una de las propuestas.

2.1 Dispositivos electrónicos para personas con discapacidad visual

Es un dispositivo que recopila información ambiental y la transmite al usuario con discapacidad visual para permitir su movimiento independiente. Se pueden clasificar de acuerdo con su propósito; sin embargo, en esta investigación se clasificarán en dos categorías: dispositivos para la detección de obstáculos y dispositivos para la navegación. A continuación, se explica sus características y qué concluye la literatura sobre ambos.

2.2. Dispositivos electrónicos para detección de obstáculos

Según Jeong y Yu (2016), la información que transmite un dispositivo electrónico sobre el ambiente que se encuentra a su alrededor es importante para el usuario invidente porque le brinda la capacidad de movilizarse de manera más autónoma; estos dispositivos normalmente utilizan más de un sensor a la vez para detectar barreras u obstáculos y la información es enviada al usuario mediante señales no visuales como sonidos, vibraciones, estimulaciones, etc.

La mayoría de estos sensores se basan en la utilización del ultrasonido, pero también existen sensores que se basan en otros medios como infrarrojo, laser, visión dinámica, brújulas electrónicas o distancia de tiempo de vuelo (Islam et al., 2019)

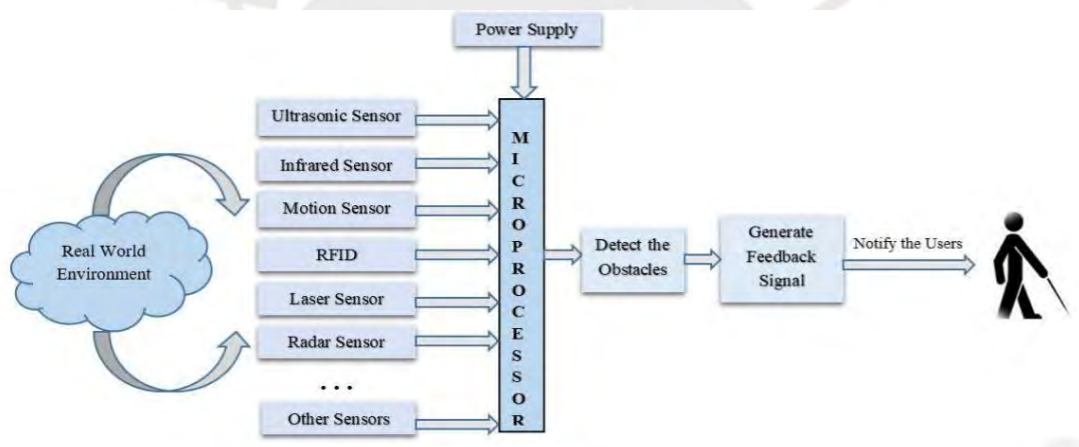


Figura 6. Arquitectura del sistema del asistente de navegación mediante sensores para personas con discapacidad visual.

Tomado de Islam et al. (2019)

Según Dos Santos et al. (2020), es probable que estos dispositivos beneficien a las personas con discapacidad visual en su movilidad e independencia; sin embargo, hay falta de evidencia empírica sobre la efectividad de estos elementos para detectar obstáculos y mejorar el rendimiento a la hora de que el usuario tenga que moverse. El estudio de Dos Santos et al. (2020) comparó el uso de los bastones convencionales con los bastones eléctricos y obtuvo como resultado que los usuarios con bastón eléctrico suelen ser más lentos; esto sugiere también que la única ventaja que ofrece este dispositivo eléctrico es la capacidad de detectar

obstáculos. Por último, ese estudio recomienda realizar más experimentos sobre los aportes de los dispositivos electrónicos en la movilización de personas con discapacidad visual, pues esta tecnología tiene potencial para ayudarlas.

2.3. Dispositivos para navegación

Según Lakde y Prasad (2015), los dispositivos para navegación normalmente se utilizan tanto en espacios interiores como exteriores; para el caso de espacios exteriores se encuentra limitada a utilizar tecnología GPS (*Global Positioning System*) porque esta no tiene la capacidad de atravesar las paredes de las edificaciones. También existen dispositivos recientemente utilizados en ciudades inteligentes denominados *beacons* (que emiten señales mediante *Bluetooth*) instalados en lugares estratégicos para notificar sobre la llegada hacia un lugar específico (Spachos & Plataniotis, 2020). Estos elementos que utilizan radio señales o *Bluetooth* suelen ser instalados en ciudades inteligentes pues permiten transmitir información en tiempo real que es de utilidad para la ubicación y orientación de las personas con discapacidad visual, los guía hacia lugares como mercados, cafeterías, estaciones de tren, etc. (Sobnath, Rehman, & Nasralla, 2020). Según la Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD, 2017) la implementación de estos elementos ha resultado ser beneficioso para invidentes, como es el caso de la ciudad de Varsovia donde se lanzó un plan piloto de sistema de navegación que utiliza tanto *beacons* como GPS; esta implementación está brindando la oportunidad de que la población con discapacidad visual pueda movilizarse y transitar sin la necesidad de depender de otra persona.

Asimismo, Cheraghi et al. (2017) evaluaron el sistema *GuideBeacon* diseñado para guiar invidentes en espacios interiores mediante *beacons* y determinaron que estos dispositivos pueden beneficiar a las personas invidentes con una reducción del tiempo de navegación del 30-50% y una reducción de la distancia para transitar. Por otro lado, Hunaiti, Garaj,

Balachandran y Cecelja (2005) indican la importancia de que un sistema de navegación tenga el menor tiempo de desfase posible entre el momento que se emite y el momento en que se recibe la información, porque la información que se envía en tiempo real sirve para instruir en el desplazamiento y orientación de una persona con discapacidad visual.

2.4. Algoritmos

La planificación de rutas para el tránsito de personas con discapacidad visual normalmente se interesa en cumplir ciertos puntos de interés, como evasión de obstáculos y encontrar la ruta más corta hacia su destino. Según refiere Wu, Marshall y Yu (2007), la decisión de encontrar un camino para una persona sin discapacidad visual o un robot difiere al de delimitar una ruta para una persona que sí tiene tal discapacidad, la principal diferencia se basa en la falta de autonomía de la persona invidente para responder frente a los obstáculos o peligros que pueden existir en un ambiente. También Wu et al. (2007) indica que en un sistema de planificación de rutas suelen incluirse variables para encontrar puntos de interés y restricciones para evadir obstáculos, en el modelo que los autores diseñaron en su investigación se consideraron factores humanos que generaron trayectorias parecidas a las que suelen seguir las personas con discapacidad visual.

Según Fernandes, Costa, Filipe, Paredes y Barroso (2019) las personas con discapacidad visual siguen los siguientes criterios para la elección de su camino:

- Se evitan los caminos que contienen estructuras que invaden los lugares transitables o espacios amplios que desorientan al invidente.
- Con el fin de evitar el ruido o una calle con afluencia de personas, las personas con discapacidad visual prefieren atravesar jardines o utilizar calles alternativas
- Las personas invidentes utilizan los muros como punto de referencia, por eso prefieren caminos donde haya presencia de estos elementos.

Tal como Wu et al. (2007) refiere, se debería considerar criterios para asignar la ruta óptima a un invidente; sin embargo, existen modelos y algoritmos utilizados para este fin que no consideran estas necesidades. Algunos de estos modelos como *Particle Swarm Optimization* (PSO) y el algoritmo *Artificial Bee Colony* (ABC) se describirán a continuación.

2.4.1. Planificación de rutas en ambientes desconocidos utilizando *Particle Swarm*

***Optimization* (PSO)**

Entre los algoritmos más populares para el cálculo de la ruta más corta se encuentra Dijkstra y el algoritmo de búsqueda A*, estos funcionan satisfactoriamente para resolver problemas de planificación de rutas. Por ejemplo, en la investigación de Wu et al. (2007) se utilizaron ambos algoritmos para la navegación de personas con discapacidad visual y se concluyó que estos eran adecuados para planificar rutas en espacios interiores; sin embargo, para Yusof, Toha y Yusof (2015) estos algoritmos no resultan ser los más adecuados cuando la dimensión del problema es muy grande debido a que consume demasiado tiempo en ejecutarse y la solución se torna ineficiente.

En la investigación de Yusof et al. (2015) se propone utilizar el algoritmo PSO, el estudio tiene como objetivo encontrar la ruta óptima (minimizando la distancia) que conecte el punto de inicio con los destinos; sin embargo, se hicieron dos supuestos para que la solución sea más accesible: no hay elementos que obstaculicen el camino y los lugares clasificados como punto de partida o destinos ya se encuentran en una base de datos dentro de un sistema. En el algoritmo las “partículas” inician en una posición aleatoria, representando así una posible solución, y luego se mueve dentro de una región en búsqueda de encontrar la óptima. A continuación, se presenta el proceso del algoritmo:

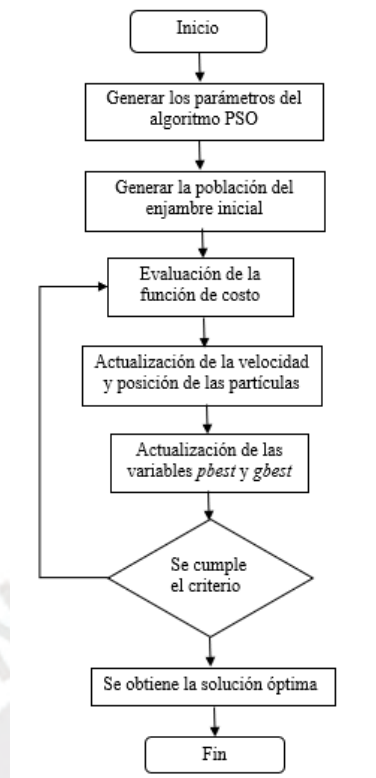


Figura 7. Proceso del algoritmo *Particle Swarm Optimization*.

Tomado de Yusof et al. (2015).

Los autores utilizaron las instalaciones de la facultad de Ingeniería de la Universidad de Malasia para simular el ambiente virtual, donde los edificios de cada especialidad representaban los destinos. El objetivo era minimizar la longitud de la ruta. Los resultados de esta simulación revelan la capacidad que tiene el algoritmo PSO para encontrar una ruta óptima, aunque con una limitante: el lugar de destino solo puede ser visitado una vez. Los autores sugieren la inclusión de más variables o parámetros para que el sistema pueda mejorar.

2.4.2. Planificación de rutas utilizando el algoritmo *Artificial Bee Colony* (ABC)

En un estudio de Fang et al. (2017), se utilizó el algoritmo ABC para planificación de rutas con múltiples objetivos. Se modificaron estrategias del algoritmo como la representación de las soluciones, la búsqueda de “vecindarios”, y añadiendo el método de la frontera de Pareto. El algoritmo “modificado” puede generar una ruta para los peatones que transitan durante la

noche, considerando la distancia, el alumbrado del camino y la aglomeración de personas. Estos factores fueron escogidos para satisfacer la necesidad de seguridad psicológica de los peatones. Cabe destacar que, si bien el estudio fue realizado para personas que no presentan discapacidad visual, el artículo considera que las necesidades de la población invidente para el tránsito deben ser consideradas.

Se utilizó el algoritmo ABC junto al método de la frontera de Pareto, pues considera los diferentes objetivos por igual para identificar una solución (lo cual es un problema para el algoritmo Dijkstra o el algoritmo A*), y de esta forma se balancean los factores de seguridad y factores de distancia. El algoritmo se basa en los mecanismos de cooperación utilizados por las abejas. Las abejas obreras exploran el vecindario que tienen asignado en busca de fuentes de comida (solución) y comparten la información con las abejas supervisoras, estas tienden a seleccionar buenas fuentes de comida a partir de las cuales continúan la exploración del vecindario y, por último, las abejas que permanecen en espera se encargan de encontrar nuevas fuentes de forma más exploradora, considerando el espacio de comida (soluciones) completo. La estrategia utilizada por las abejas supervisoras serán construidas con la ayuda de la frontera de Pareto (FP), primero se crea la primera superficie que representa la primera solución, luego se van creando otras FP cuando se encuentran mejores soluciones y la primera solución pasa a ser la solución previa. En el estudio se hizo un gráfico de tres dimensiones, las cuales representan los tres objetivos mencionados: distancia, iluminación de la ruta y afluencia de gente. En la figura 8, se muestra la actualización de nuevas soluciones mediante la frontera de Pareto.

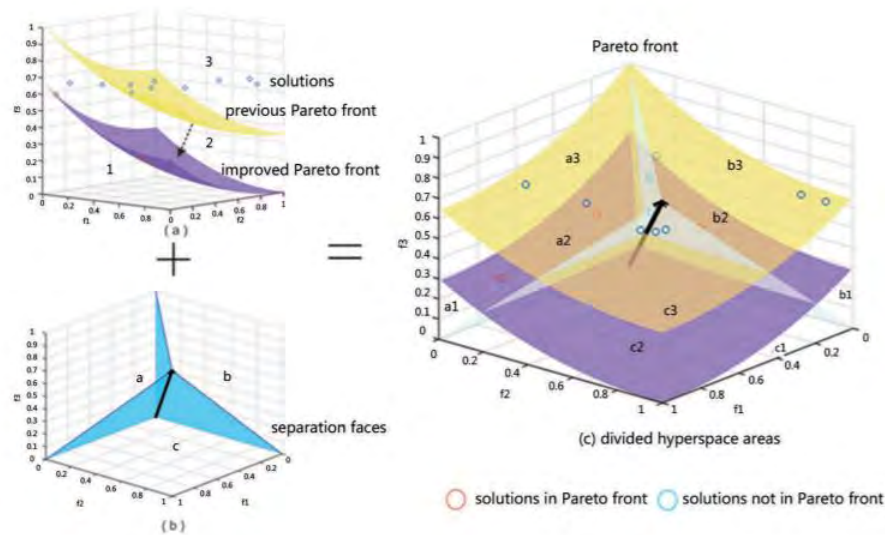


Figura 8. Utilización de la Frontera de Pareto.

Tomado de Fang et al. (2017).

Se utiliza la FP para evaluar la aceptabilidad del candidato a solución utilizando los tres objetivos diferentes, a diferencia del algoritmo ABC sin modificar, que solo acepta una nueva solución si esta es mejor que la anterior en una dimensión.

2.5. Sistema de apoyo para navegación de estudiantes con discapacidad visual en un campus universitario

También fue materia de estudio el diseño de un sistema inteligente que utiliza los anteriormente mencionados *beacons*, algoritmos de optimización de rutas y optimización basada en técnicas de Inteligencia Artificial (IA), *Big Data* e IoT (Kose & Vasant, 2018). Este sistema fue utilizado para determinar una ruta de tránsito efectiva dentro del campus de la Universidad Suleyman Demirel en Turquía para personas con discapacidad visual, el objetivo era que solo existiera interacción entre *beacons* y teléfonos inteligentes, para así evitar la construcción de pisos podotáctiles que generan elevados costos.

Los autores consideraron la flexibilidad del sistema como un factor importante, de esta manera será posible realizar modificaciones o mejoras de manera sencilla. En esta investigación se aprovecharon las herramientas que provee una IA con el fin de buscar soluciones alternativas. La aplicación del IoT se centra en la interacción entre los estudiantes invidentes, *beacons*, y el Sistema de Navegación Central (SNC) para que se puedan comunicar entre ellos mediante un “triángulo de comunicación”.

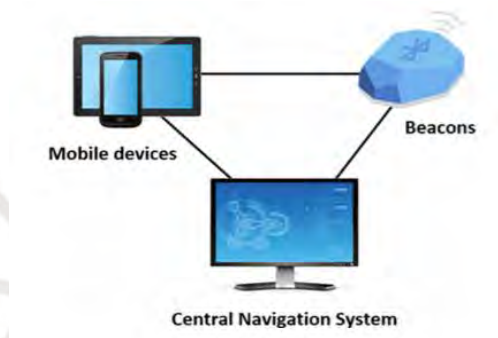


Figura 9. Triángulo de comunicación.

Tomado de Kose y Vasant (2018).

A continuación, se describirán los componentes tipo hardware y tipo software del sistema.

2.5.1. Hardware

Entre los componentes hardware del sistema se encuentran: el dispositivo móvil que sirve para que el invidente sea guiado por el sistema hacia su destino; los *beacons* que sirven para ubicar la posición actual de la persona, trazar el camino óptimo y activar notificaciones para que el usuario se guíe mediante el dispositivo móvil; y el SNC, el cual funciona como el centro del sistema recibiendo información de los distintos componentes para guiar a la persona.



Figura 10. Interacción con un beacon.

Tomado de Kose y Vasant (2018).

2.5.2. Software

Respecto a los componentes del software se diseñó el sistema para un aplicativo móvil en iOS y Android. El aplicativo busca asegurar que la experiencia de tránsito sea eficiente mediante herramientas como interfaz de reconocimiento de voz, infraestructura de interacción social, mapa dinámico, ampliación de sonido, procedimientos para la comunicación, un soporte para la navegación fuera de línea, y componentes software en el SNC. Además, para que el invidente pueda acceder a las funciones de la aplicación, se configuraron los botones del dispositivo móvil utilizados para funciones importantes como encendido, apagado y volumen para que el usuario pueda manejar la aplicación mediante esos botones porque les resultan más accesibles (Kose & Vasant, 2018).



Figura 11. Interfaz de la aplicación móvil utilizada por el estudiante con discapacidad visual.

Tomado de Kose y Vasant (2018).

El soporte *Big Data* fue utilizado para analizar las interacciones sociales de los usuarios, detectar los *beacons* activados antes que el usuario llegue a su destino y registrar los tipos de publicaciones compartidas que son de utilidad para invidentes. Esto con el fin de integrar al usuario dentro del ambiente social del campus.

Respecto a los algoritmos para optimizar la ruta, se utilizaron tres: *Dijkstra Algorithm* (DA), *Ant Colony Optimization* (ACO) e *Intelligent Water Drops Algorithm* (IWDs). El rendimiento de los algoritmos anteriormente mencionados fue medido mediante tres indicadores:

1. Encontrar la ruta que incluya la mayor cantidad de *beacons*, para que los invidentes puedan guiarse.
2. Encontrar una ruta con la mayor cantidad de nodos conectados físicamente, evitando así tramos intransitables por los peatones invidentes.
3. Obtener el menor tiempo de ejecución del algoritmo.

Es así como los algoritmos de DA, ACO y IWDs fueron escogidos por un mejor rendimiento sobre otros algoritmos como *Algorithmic Reasoning Optimization* (ARO), *Biased Random-Key Genetic Algorithm* (BRK-GA) o *Combinatorial Particle Swarm Optimization* (CPSO). Esta medición se basó en una simulación realizada en cinco ambientes distintos dentro del campus universitario, donde los tres indicadores de rendimiento obtenidos de las rutas fueron promediados para determinar los niveles de eficiencia de cada algoritmo. Finalmente, se evaluó la efectividad del sistema mediante opiniones de 10 usuarios sobre aspectos como distancia, seguridad y comodidad. Luego de la encuesta se determinó que los estudiantes con discapacidad visual se encontraron satisfechos con la experiencia del tránsito mediante el sistema desarrollado.

En esta revisión de la literatura se observa que las propuestas de solución fueron diseñadas para resolver distintos aspectos de la problemática del tránsito para personas con discapacidad visual. Los dispositivos electrónicos se encargan de cubrir el aspecto de detección de obstáculos, orientación y navegación de la persona con discapacidad visual a través de un ambiente; mediante la recopilación de información guían al invidente en su tránsito. Por otro lado, los algoritmos se encargan de encontrar una ruta más apropiada para un invidente para

cumplir en el aspecto de seguridad y accesibilidad que las personas con discapacidad visual necesitan para transitar. El algoritmo PSO fue aplicado para encontrar una ruta corta y libre de obstáculos, por el contrario, el algoritmo ABC encontró rutas que cumplieran con tres objetivos: menor distancia, mayor cantidad de tramos con iluminación y mayor cantidad de tramos con afluencia de personas. Por último, se han diseñado sistemas que además de incluir los dispositivos electrónicos y algoritmos anteriormente mencionados incluye la aplicación de IA, *Big Data* e IoT; en particular el IoT es la que se acerca a cubrir la mayoría de aspectos de la problemática de tránsito de una persona con discapacidad visual.



Capítulo 3. Conclusiones

Con base en la literatura revisada se reseña las siguientes conclusiones:

- ✓ La detección de obstáculos resulta uno de los principales problemas de una persona con discapacidad visual cuando transita, es por ello que una propuesta de solución a ese desafío es incluir tecnología electrónica que pueda detectarlos de manera eficiente. También sería idóneo que la información de estos obstáculos (principalmente los estáticos) sean transmitidos hacia un sistema que trabaje para encontrar una ruta que logre evitarlos.
- ✓ Los elementos de ayuda más utilizados y conocidos actualmente son los bastones blancos, este sirve de extensión del sentido del tacto para un invidente y le permite identificar los elementos más cercanos a su alrededor; sin embargo, tiene un rango limitado y por sí solo no le permite a un invidente transitar con seguridad por la ciudad.
- ✓ Los elementos más utilizados en las soluciones planteadas son las balizas o *beacons*, que son dispositivos encargados de recibir las señales emitidas por los dispositivos. Son utilizados en las ciudades inteligentes, debido a su bajo costo y facilidad de instalación. Estos elementos serían de gran utilidad para recibir información en tiempo real y permitirían suministrar datos a modelos que determinan las rutas más accesibles y seguras.
- ✓ Las soluciones planteadas en su mayoría son desarrolladas para entornos interiores (*indoor navigation*), pues en los exteriores normalmente se utilizan dispositivos GPS para guiar a la persona a pesar de alguna inexactitud que pudiera presentar. Un planteamiento de este tipo de problemática en entornos exteriores debería considerar como supuestos obviar el tráfico de las calles, el flujo de personas o la hora en la que se simula el modelo (las variables antes mencionadas pueden variar respecto a la hora en distintos escenarios).
- ✓ La resolución de la problemática de tránsito para personas con discapacidad visual requiere de varios campos de aplicación, no solo de una planificación de rutas mediante algoritmos, sino de áreas como la electrónica, inteligencia artificial, diseño de aplicaciones, *Big Data*,

entre otras. Estas herramientas deben ser integradas en un sistema para satisfacer las necesidades en diversos aspectos que las personas con discapacidad visual pueden tener mientras transitan ya sea en una calle o dentro de un establecimiento.

- ✓ Se deben considerar las necesidades y problemas que una persona con discapacidad visual puede tener cuando transita por un camino, pues obviar estas consideraciones podría poner en peligro su integridad (lesiones por chocar con obstáculos) y su seguridad (transitar por lugares peligrosos). Encontrar la ruta más corta resulta insuficiente.
- ✓ La ruta óptima a encontrar debería considerar la presencia de elementos de apoyo para personas con discapacidad visual como lo son las superficies táctiles o señales peatonales accesibles. Es importante que estos elementos se encuentren instalados o funcionen correctamente para que sean útiles a las personas con discapacidad visual y no sean elementos desorientadores.
- ✓ Los principales algoritmos de ruteo (Dijkstra, A*, PSO) resultan insuficientes para considerar las necesidades reales de un invidente pues solo encuentran la ruta más corta. Se deben modificar los valores de entrada para que estos realmente cumplan el objetivo de encontrar la ruta más accesible y segura.
- ✓ Las soluciones deben considerar la accesibilidad de una persona con discapacidad visual hacia el producto o servicio final, si su diseño resulta complejo podría crear dificultades para que este pueda utilizarla. En los casos de las soluciones que incluyen aplicaciones, estas deben ser de fácil acceso para una persona que tiene dificultades para visualizar la pantalla.

Bibliografía

- Barraga, N. (1992). *Desarrollo senso-perceptivo*. Córdoba, Argentina: ICEVH.
- Cheraghi, S. A., Namboodiri, V., & Walker, L. (2017). GuideBeacon: Beacon-based indoor wayfinding for the blind, visually impaired, and disoriented. En *2017 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications(PerCom)* (págs. 121-130). IEEE.
- Cohen, A. (2017). *Building a weighted graph based on OpenStreetMap data for routing algorithms for blind pedestrians* (Tesis de investigación). Israel Institute of Technology. Obtenido de https://socialhub.technion.ac.il/wp-content/uploads/2017/08/revise_version-final.pdf
- Congreso de la República. (2012). Ley 29830. Ley que promueve y regula el uso de perros guía por personas con discapacidad visual. *Diario Oficial El Peruano*.
- Department of the Environment Transport and the Regions of United Kingdom. (2004). *Guidance on the Use of Tactile Paving Surfaces*. Recuperado del sitio de internet: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/289245/tactile-paving-surfaces.pdf
- Dos Santos, A., Medola, F., Cinelli, M., García, A., & Sandnes, F. (2020). Are electronic canes better than traditional canes? A comparative study with blind and blindfolded participants. *Universal Access in the Information Society:International Journal*, 1-11. doi:10.1007/s10209-020-00712-z
- Fang, Z., Li, L., Li, B., Zhu, J., Li, Q., & Xiong, S. (2017). An artificial bee colony-based multi-objective route planning algorithm for use in pedestrian navigation at night. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(10), 2020-2044. doi:10.1080/13658816.2017.1346795

- Fanucci, L., Roncella, R., Iacopetti, F., Donati, M., & Giannelli, N. (2014). A mobility aid system for visually impaired people on the historical walls of Lucca city, Tuscany, Italy. En *22nd Mediterranean Conference on Control and Automation* (págs. 2-7). Palermo, Italy: IEEE.
- Fernandes, H., Costa, P., Filipe, V., Paredes, H., & Barroso, J. (2019). A review of assistive spatial orientation and navigation technologies for the visually impaired. *Universal Access in the Information Society*, 18(1), 155-168. doi:10.1007/s10209-017-0574-4
- Fundación Organización Nacional de Ciegos Españoles - Perros guía. (s.f.a). *ONCE- Perros guía*. Obtenido del sitio de internet Nuestros perros - Fundación ONCE del Perro-Guía: <https://perrosguia.once.es/es/que-hacemos/nuestros-perros>
- Fundación Organización Nacional de Ciegos Españoles - Perros guía. (s.f.b). *ONCE- Perros guía*. Obtenido del sitio de internet Nuestros trabajo - Fundación ONCE del Perro-Guía: <https://perrosguia.once.es/es/que-hacemos/nuestro-trabajo>
- Harkey, D. L., Carter, D. L., Barlow, J. M., & Bentzen, B. L. (2007). Accesible Pedestrian Signals: A Guide to Best Practices. *National Cooperative Highway Research Program, Contractor's Guide for NCHRP Project*.
- Huerta, J., & Isola, J. A. (2006). *Discapacidad y Accesibilidad: La dimensión desconocida*. Lima, Perú: Fondo Editorial del Congreso del Perú.
- Hunaiti, Z., Garaj, V., Balachandran, W., & Cecelja, F. (2005). An assessment of 3g link in a navigation system for visually impaired pedestrians. En *5th International Conference on Electronics, Communications and Computers (CONIELECOMP'05)* (págs. 7-9). Puebla, Mexico: IEEE.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2014). *Primera Encuesta Nacional Especializada sobre Discapacidad 2012*. Obtenido del sitio de Internet de la INEI

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1171/ENEDIS%202012%20-%20COMPLETO.pdf

- Islam, M. M., Sadi, M. S., Zamli, K. Z., & Ahmed, M. M. (2019). Developing Walking Assistants for Visually Impaired People: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 1(1), 2814-2828. doi:10.1109/jsen.2018.2890423
- Jeong, G.-Y., & Yu, K.-H. (2016). Multi-Section Sensing and Vibrotactile Perception for Walking Guide of Visually Impaired Person. *Sensors*, 16(7), 1070. doi:10.3390/s16071070
- Kammoun, S., Dramas, F., Oriolaand, B., & Jouffrais, C. (2010). Route selection algorithm for blind pedestrian. En *ICCAS* (págs. 2223-2228). Gyeonggi-do, South Korea: IEEE.
- Kose, U., & Vasant, P. (2018). Better campus life for visually impaired University students: intelligent social walking system with beacon and assistive technologies. *Wireless Networks*, 1-15. doi:10.1007/s11276-018-1868-z
- Lakde, C. K., & Prasad, P. S. (2015). Review paper on navigation system for visually impaired people. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, 4(1).
- Lu, J., Siu, K. W., & Xu, P. (2008). A comparative study of tactile paving design standards in different countries. En *2008 9th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Desing* (págs. 753-758). IEEE.
- Mahida, P. T., Shahrestani, S., & Cheung, H. (2018). Comparision of pathfinding algorithms for visually impaired people in IoT based smart buildings. En *2018 28th International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC)* (págs. 1-3). Sydney, NSW, Australia: IEEE.

- Manduchi, R., & Kurniawan, S. (2011). Mobility-related accidents experienced by people with visual impairment. *Insight: Research and Practice in Visual Impairment and Blindness*, 4(2), 44-54.
- Matarrita, S., & Vega, S. (2012). *Mi autonomía, el bastón y yo*. Recuperado del sitio de internet de:

https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.foal.es/sites/default/files/docs/ponencia%2520Foal.%2520Mi%2520autonomia,%2520el%2520bast%25C3%25B3n%2520y%2520yo.%2520Licda.%2520Samar%25C3%25AD%2520Vega%2520Salas_0.pdf&ved=2ahUKEwj2frTsZ
- Organisation for Economic Cooperation and Development. (2017). *Embracing innovation in government global trends*. Paris: OECD.
- Organización Mundial de la Salud. (2001). *Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud*.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Ceguera y discapacidad visual*. Obtenido del sitio de internet de la OMS: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment#:~:text=La%20Clasificaci%C3%B3n%20Internacional%20de%20Enfermedades,visual%20inferior%20a%206%2F18>
- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). *Discapacidades*. Obtenido del sitio de internet de la OMS: <https://www.who.int/topics/disabilities/es/>
- Querejeta, M. (2012). *Discapacidad y dependencia. Unificación de criterios de valoración y clasificación*. (IMSERSO, Ed.) Madrid.
- Sakhardande, J., Pattanayak, P., & Bhowmick, M. (2012). Smart cane assisted mobility for the visually impaired. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 6(10), 1262-1265.

- Santiago, A., Cancela, J. M., & González, M. (2006). De la " minusvalía " visual a la " discapacidad " visual. *Revista de investigación en educación,. Revista de investigación en educación, 3*, 33-50.
- Sobnath, D., Rehman, I. U., & Nasralla, M. M. (2020). Smart cities to improve mobility and quality of life of the visually impaired. En *Technological Trends in Improved Mobility of the Visually Impaired* (págs. 3-28). Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-16450-8_1
- Spachos, P., & Plataniotis, K. (2020). BLE Beacons in the Smart City: Applications, Challenges, and Research Opportunities. *IEEE Internet of Things Magazine, 3*(1), 14-18. doi:10.1109/iotm.0001.1900073
- Vilcanqui, Y. (2017). *Autonomía, seguridad y movilidad desde el punto de vista de la persona en condición de discapacidad visual en la ciudad de Lima* (Tesis de licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/9393>
- Whitmarsh, L. (2005). The Benefits of Guide Dog Ownership. *Visual Impairment Research, 7*(1), 27–42. doi:10.1080/13882350590956439
- Wu, H., Marshall, A., & Yu, W. (2007). Path planning and following algorithms in an indoor navigation model for visually impaired. En *Second International Conference on Internet Monitoring and Protection (ICIMP 2007)* (págs. 33-38). San Jose, CA, USA: IEEE.
- Yusof, T. S., Toha, S. F., & Yusof, H. M. (2015). Path Planning for Visually Impaired People in an Unfamiliar Environment Using Particle Swarm Optimization. *Procedia Computer Science, 76*, 80-86. doi:10.1016/j.procs.2015.12.281